

电力仿真数据可视分析系统介绍

目录

1. 系统目的.....	2
2. 系统结构与功能.....	2
3. 暂态稳定计算模块.....	2
4. 数据预处理模块.....	3
5. 服务器后端.....	3
5.1 资源请求.....	3
5.2 异常检测.....	3
5.2.1 CUSUM (稍后补充).....	3
5.2.2 Shewhart	3
6. 前端模块.....	4
6.1 主视图.....	4
6.1.1 WaveLines 图	4
6.1.2 Stacked WaveLines 图	5
6.1.3 Shewhart-based WaveLines 图	6
6.1.4 对主视图的调节.....	6
6.2 辅助视图.....	7
6.2.1 拓扑图.....	7
6.2.2 半矩阵序列.....	7
6.2.3 直方图.....	7
6.2.4 分析报告.....	7
6.3 交互功能.....	8
6.3.1 母线重排序.....	8
6.3.2 非线性变换.....	8
6.3.3 异常检测.....	9
6.3.4 缩放.....	9
6.3.5 链接.....	9

1. 系统目的

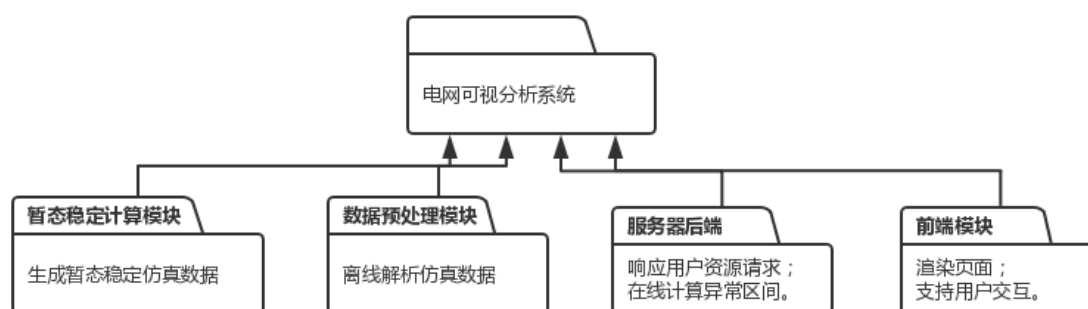
电力行业通常用电压、频率、发电机间的相对功角来评判电网是否稳定，任何一个物理量的失稳（表现为数值的震荡变化）都可能导致整个系统的失稳。本系统主要通过支持对电力仿真数据的浏览和交互来帮助用户解决下述三个问题：

- 一个电力系统在遭受故障、冲击的前后是否能保持稳定
- 失稳系统的类型识别：第一摆失稳或周期性失稳
- 探究失稳原因

2. 系统结构与功能

本系统采用如图 1 所示的 B/S 体系结构，各模块功能如下：

1. 暂态稳定计算模块：生成电网仿真数据
2. 数据预处理模块：针对原始仿真数据中存在的数值重复、数据缺失等问题，本模块将首先对数据进行清洗，再采取一系列的数据预处理手段将数据处理成便于使用的形式
3. 后端服务器：负责响应用户资源请求，在线计算异常区间
4. 浏览器端：负责快速绘制可视化结果，提供交互界面等任务。



3. 暂态稳定计算模块

暂态稳定计算模块产生的数据包括但不限于：

- 潮流母线数据文件 (LF.L1): 每个节点（母线）的静态属性
- 交流线数据文件 (LF.L2): 边（基准电压相同的母线间的连线）的静态属性
- 变压器数据文件 (LF.L3): 边（基准电压不同的母线间的连线）的静态属性
- 网络故障数据文件 (ST.S11): 定义故障表现方式（故障类型、出现的时刻等）
- 暂态稳定计算结果元数据文件 (STOUF.INF): 定义结果文件的格式
- 暂态稳定计算结果文件 (FN*.DAT)

4. 数据预处理模块

针对原始仿真数据中存在的字符编码不同、数值重复或数据缺失等问题，本模块将首先对数据进行清洗，再采取一系列的数据预处理手段将数据处理成便于使用的形式：

- 将 LF.L1 文件解析为 bus.json 文件；
- 将 LF.L2 和 LF.L3 文件解析为 edge.json 文件；
- 通过 STOUF.INF 解析出 meta.json, 并以此进一步解析 FN1.DAT, ..., FNn.DAT 文件生成 result.json;
- 将 result.json 划分为包含电压、频率、相对功角原始值及统计值的 voltages.json, freqs.json, ... 等文件。

同时，我们基于 edge.json 计算出了节点与节点间的电气距离，采用 dijkstra 算法预计算出了所有点对间的最短路径。在系统中，我们将通过点对间的最短路径对节点进行重排序，以观察故障传播与电气距离的关系。

5. 服务器后端

服务器后端主要负责相应用户的资源请求，以及根据用户设定的参数来检测某一个物理量在时序变化过程中的异常区间。

5.1 资源请求

通过 HTTP 的 GET 方法，对外提供访问数据预处理模块产生的数据，以响应用户的资源请求。

5.2 异常检测

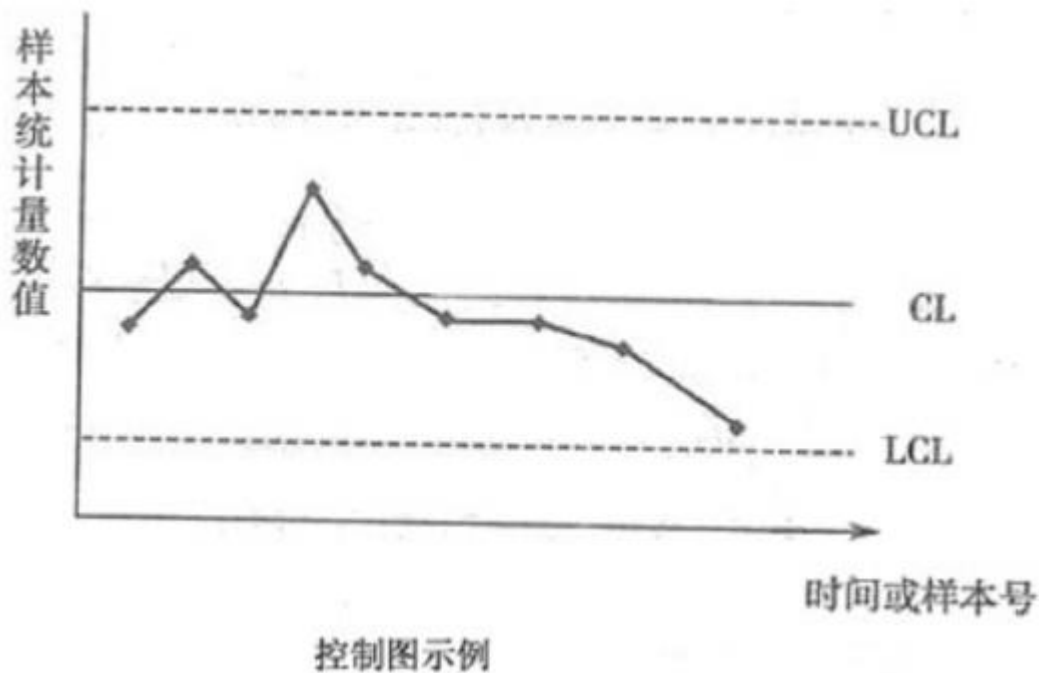
我们改进了多种传统的统计质量控制方法，提出了适用于电力时序数据的异常检测手段。

5.2.1 CUSUM (稍后补充)

5.2.2 Shewhart

对于时序数据序列 $[x_1, x_2, \dots, x_n]$, 我们将按照下述七个步骤进行异常检测：

1. 对于每个 x_i , 我们计算 $x'_i = (x_{i-1} + x_{i-2} + x_i + x_{i+1} + x_{i+2}) / 5$, 其中5这个值可以由用户指定调整，目的在于计算每个时刻在它附近的时间段内的均值
2. 对于每个 x_i , 我们计算 $y'_i = [x_{i-2}, x_{i-1}, x_i, x_{i+1}, x_{i+2}]$ 的极差, 其中这个区间的长长度可以由用户指定调整，目的在于计算每个时刻在它附近的时间段内的极差
3. 从而而我们得到两个新的序列列 $[x'_1, x'_2, \dots, x'_n]$, $[y'_1, y'_2, \dots, y'_n]$
4. 我们计算序列列 $[x_1, x_2, \dots, x_n]$ 的标准差 stdev
5. 对于 $[x'_1, x'_2, \dots, x'_n]$, 我们将其绘制在二维坐标系上，外加三条控制线，如下图所示



其中控制中心心线CL表示故障发生生前一一刻的常态值 c ，控制上限UCL和下限LCL分别表示 $c+k*\text{stdev}$ 和 $c-k*\text{stdev}$ 其中 k 的值可以由用用户自自定义。算法检测超出控制上下限的异常值

6. 对于 $[y'_1, y'_2, \dots, y'_n]$ ，我们同样将其绘制在二二维坐标系上，由于稳定状态下极差序列列应趋向于 0, 因此我们外加一一条控制线为 k 倍的极差均值 ($0 < k < 1$), 算法检测超出控制线的异常值
7. 我们对检测到的均值和极差的异常时段做并集，得到最后检测到的异常时段

6. 前端模块

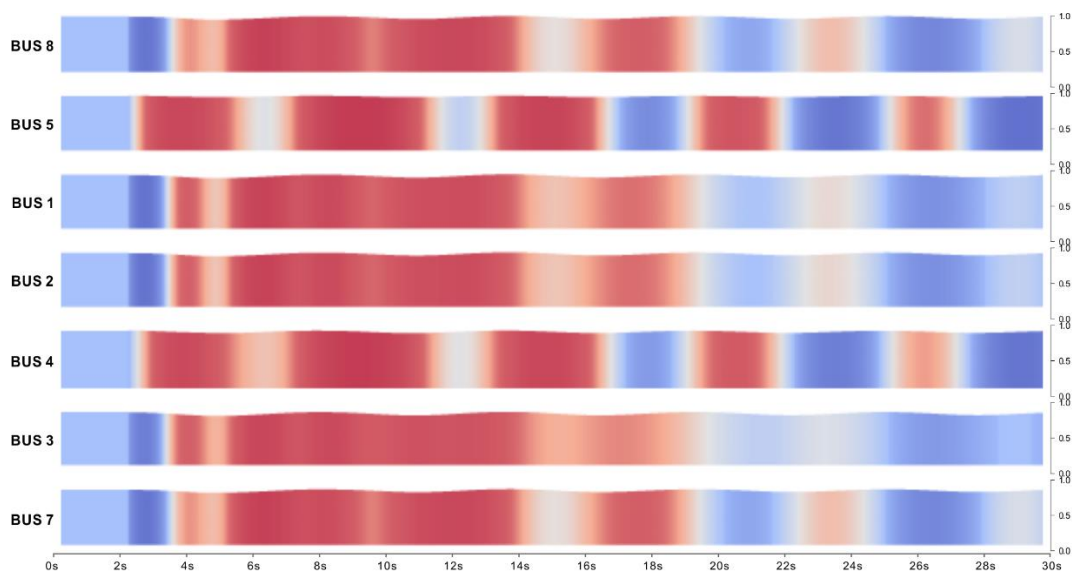
在系统中，我们采用若干个视图对不同的变量可视化，以同时展现变量间的关联。这些视图反映了数据的总体情况、全局模式、局部变化、瞬时状态等特征。

6.1 主视图

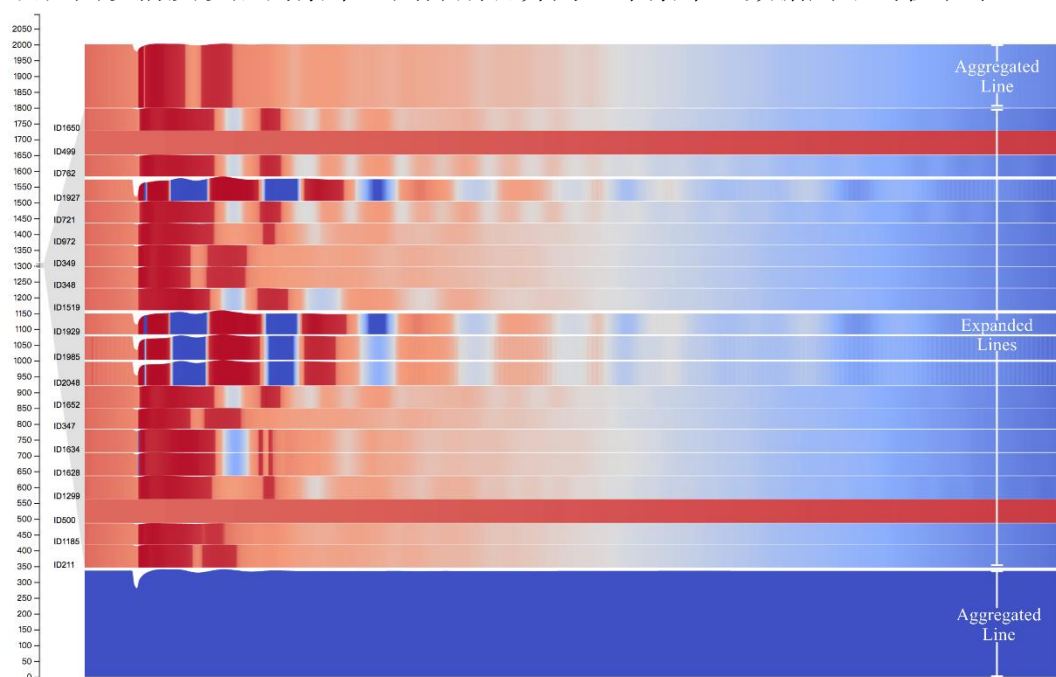
6.1.1 WaveLines 图

对于每组数据采用一个带有宽度和颜色变化的条带进行编码。其中颜色对应一个一维变量、宽度（纵轴）对应一个一维变量、延伸方向（横轴）代表时序。

变量选择：考虑到对物理变量的直观表现，选择了两对变量用于可视化。第一对是直接使用的常用变量：每个节点对应一个条带，条带中的颜色用于编码频率、宽度用于编码电压。另外，在第二对中引入了反映电气距离等关系的相对功角：将一台发电机对各发电机的相对功角作为一组数据，每组数据（亦即每台发电机）对应一个条带，条带中的颜色用于编码方差、宽度用于编码均值。

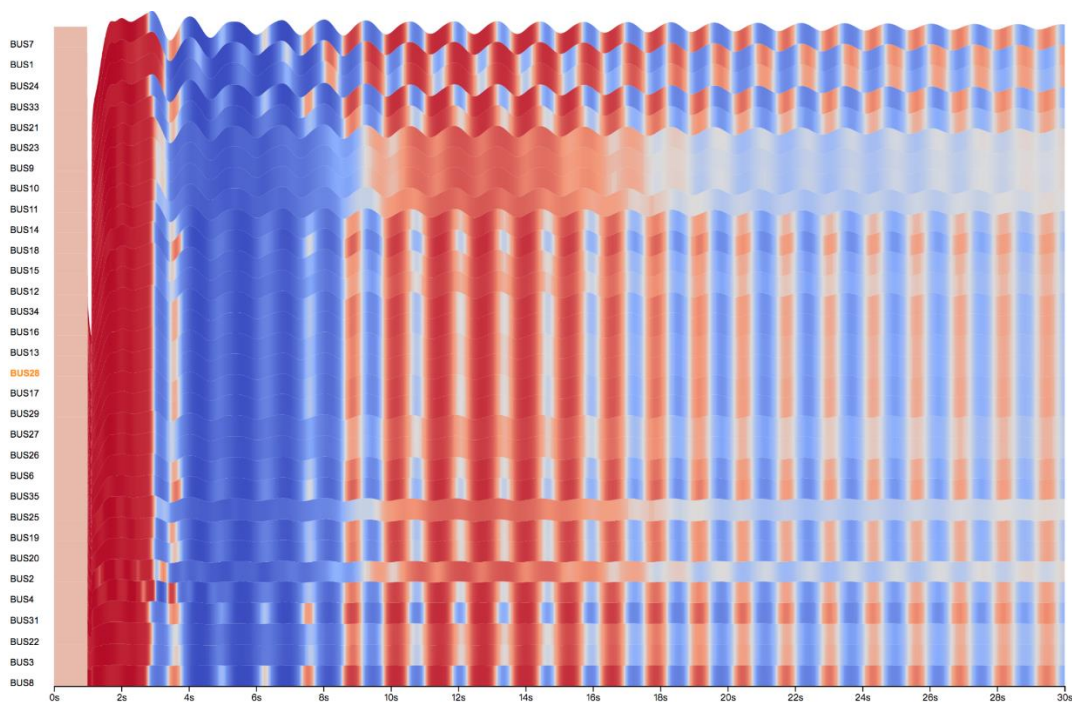


大算例数据集：数据集中的某些样例包含了较多的节点，绘制这些样例的视图时，由于不便同时排列几千个条带，所以加入了滑动条以选择独立绘制的条带范围。对于该范围以前的条带，则分别合并为一个条带，数据用平均值表示。



6.1.2 Stacked WaveLines 图

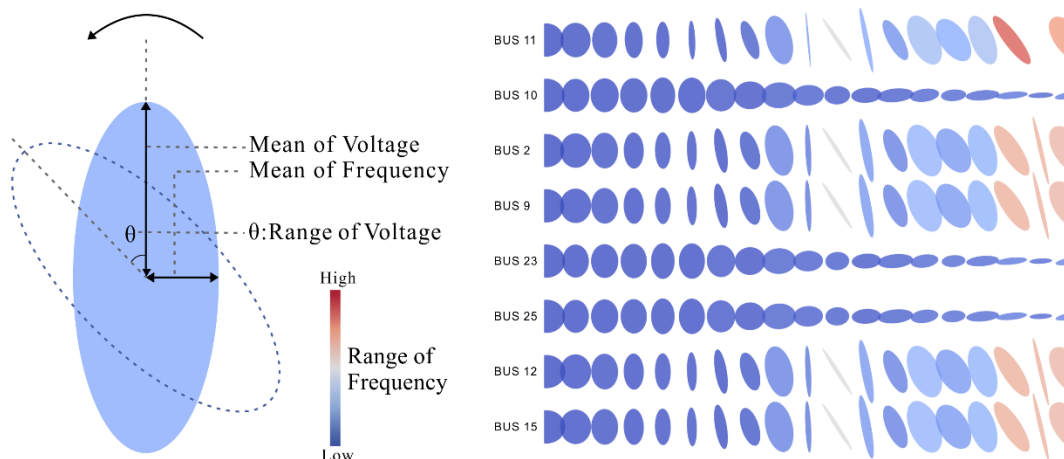
堆叠模式：用户可以选择堆叠条带，以便在视图中观察条带之间的关联性，如同时刻的颜色或宽度变化的同步与不同步。



6.1.3 Shewhart-based WaveLines 图

采用了椭圆序列来反映短时间内的统计结果。对于每一个时刻，绘制一个椭圆，然后以该时刻为中心的一个短序列（序列长度可以调节）作为数据。在椭圆中，使用颜色编码频率的极差、旋转角度编码电压的极差、短轴编码频率的极差、长轴编码电压的极差。

这种视图支持基于 Shewhart 算法的区间高亮。



6.1.4 对主视图的调节

用户可以用下述四种方式改变

差值：该选项支持将宽度数据计算成相对于基准值的差值，提高视觉上的波动幅度。

均衡化：该选项支持将颜色编码均衡化，使得颜色变化较为均匀。

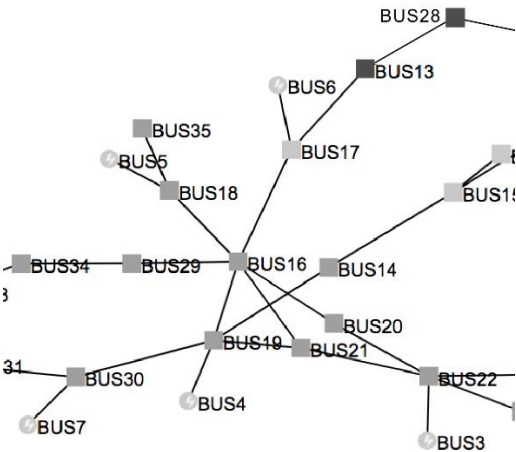
幅度变换：该选项支持将宽度数据进行变换（如对数变换），提高视觉上的波动幅度。

排序：该选项支持将条带按照电气距离从低到高排列，反映电气距离与数值变化的关系。

6.2 辅助视图

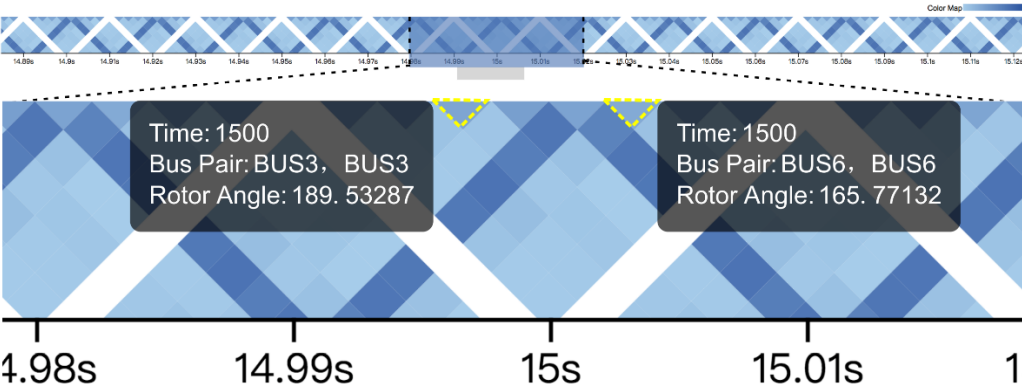
6.2.1 拓扑图

拓扑图显示了所选样例的电网的拓扑结构。其中节点表示母线、边表示它们的连接关系，图的布局使用力引导计算。另外，节点的颜色编码了它的参考电压；如果它对应了一台发电机，则用一个符号标示出来。



6.2.2 半矩阵序列

半矩阵序列对于每个时刻，采用矩阵的上三角或下三角部分编码两个发电机之间的相对功角。上、下三角交错排列，按照时间在横轴方向展开。



6.2.3 直方图

直方图用于显示某个变量的数值分布。

6.2.4 分析报告

分析报告让用户记录对于某个样例的诊断结果，并返回最近一次对于该样例的历史诊断记录。

Fault Type: Grounding of bus bars

Sample: 1

Overall Stability
☐ Stable ☒ Unstable

Unstable Pattern
☐ First-swing instability ☒ Periodic instability

Stability of Voltage
☐ Large ☐ Keep Vibrating ☒ Keep Stable

Stability of Frequency
☐ Large ☒ Keep Vibrating ☐ Keep Stable

Stability of Rotor Angle
☐ Large ☒ Keep Vibrating ☐ Keep Stable

Reason:

Save

6.3 交互功能

6.3.1 母线重排序

1. 构造母线的电气距离图 $G = (V, E)$, $v_i \in V$, 代表 ID 为 i 的母线; $e_{ij} \in E$, 代表 ID 为 i 的母线与 ID 为 j 的母线的电气距离, e_{ij} 的计算方式如下:

$$e_{ij} = \sqrt{R_{ij}^2 + X_{ij}^2}$$

其中 R_{ij} 代表的是 ID 为 i 的母线与 ID 为 j 的母线之间的线路的正序电阻, X_{ij} 代表的是前文描述的线路的正序电抗

2. 在上文描述的图 G 中, 以 Dijkstra 算法求图中故障点到其余各点的最短路径 d_i 。如果故障点不止一个, 则将所有故障点先合并成一个新的点, 新点与其余所有点的电气距离 e_{ni} 定义如下:

$$e_{ni} = \begin{cases} \text{不存在, 如果不存在任何一条边 } e_{ki}, \text{ 其中 } k \in \text{所有故障点的集合} \\ \min_{k \in \text{所有故障点的集合}} (e_{ki}), \text{ 如果至少存在一条边 } e_{ki}, \text{ 其中 } k \in \text{所有故障点的集合} \end{cases}$$

3. 依照 d_i 的值从小到大, 将所有母线按照“一下一上”或“从上到下”的方式进行排序, 最终得到的母线序列就是我们主视图的展示顺序依据。

6.3.2 非线性变换

以“尚未发生变换”的电压-频率为例, 假设母线电压极差 $R = [r_1, r_2, \dots, r_n]$ (n 为母线数量), 屏幕高度为 h 。

注:

- 观察绝对值时, 极差 r_i = 母线 i 全时刻的电压最大值 - 0;
- 观察差值时, 极差 r_i = 母线 i 全时刻的电压差值最大值 - 最小值

那么 $\text{bus}[i]$ 所占的总高度为 $r_i / \text{sum}(R) * h$;

对于时刻 k , $\text{bus}[i]$ 的条带宽度为 $\text{bus}[i].\text{voltages}[k] / \text{sum}(R) * h$ 。

6.3.2.1 sqrt 平方根变换

以 `sqrt`（平方根变换）为例，我们用变换函数 $h(r) = \sqrt{r}$ 作用于 `R` 中的每个元素，获得新的极差数组 `H`。

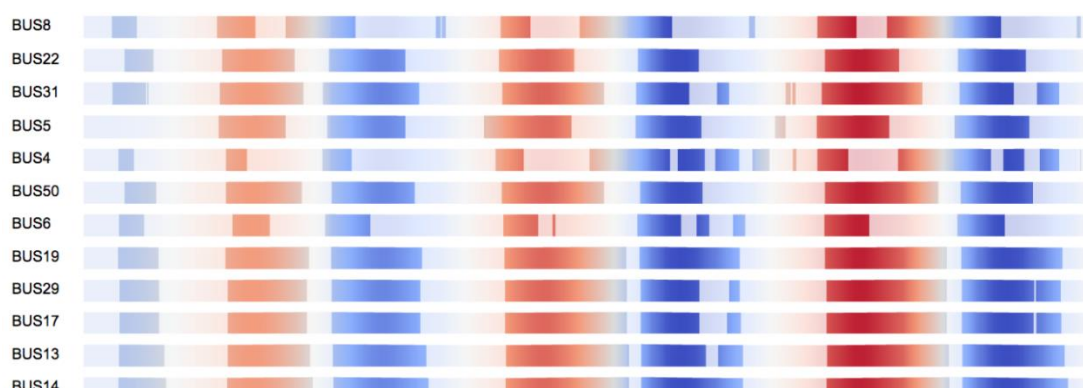
之后就可以根据这个极差数组，确定 `wave line` 的宽度变化了。

6.3.2.2 log 变换

同 `sqrt`。

6.3.3 异常检测

系统提供了若干种方法，用于筛选满足特定条件的区间，以进行异常检测。



6.3.4 缩放

主视图支持缩放，以观察不同尺度的时序数据。

6.3.5 链接

鼠标悬停在节点或条带上时，对应的节点与条带之间会显示一个连接，提高直观性。

